

BRÈVE HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE MUSICALE

SLIDE FROM **ROMAIN MICHON** (INRIA, ÉQUIPE PROJET EMERAUDE)



INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

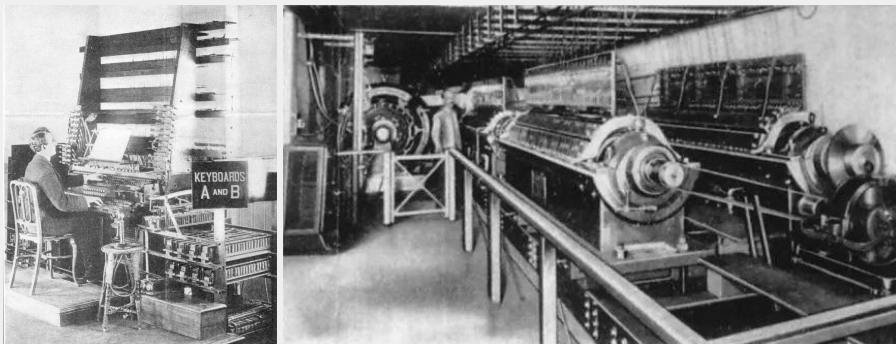


GRAME
CENTRE NATIONAL
DE CRÉATION
MUSICALE, LYON



Dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, l'utilisation de l'électricité se démocratise et donne naissance à un très grand nombre de technologies sonores et musicales. On pense notamment au téléphone (premier article en 1854 par Charles BOURSEUL sur la « transmission électrique de la parole ») et au Telharmonium.

LE TELHARMONIUM (1896-1906)



Clavier du Telharmonium (à gauche) et générateur de courant (à droite)

- Orgue électrique développé par Thaddeus Cahill et utilisant 12 générateurs d'onde basés sur des « roues phoniques » pour produire les 12 notes de la gamme chromatique.
- Diffusion de concerts via le téléphone et dans des hôtels à New York.
- La version finale pesait 200 tonnes et mesurait 18 mètres de long.
- La compagnie fait faillite à cause des interférences avec les autres conversations téléphoniques.



Alexandra Stepanoff jouant du thérémine pour la radio NBC en 1930

- Issu des recherches de Lev Sergeyevich Termen sur les capteurs de proximités.
- Premier instrument de musique électronique grand public.
- Toujours très populaire de nos jours mais dur à jouer. Son expressivité et son côté presque « magique » a fait son succès.
- Démonstration : <https://youtu.be/XdFSU8sn3mo>

L'ORGUE HAMMOND (1935)



Hammond B-3 avec banc, pédalier et cabine Leslie 122

- Développé par Laurens Hammond dans les années 1930 pour offrir une alternative bon marché aux orgues d'église.
- Technologie assez similaire à celle du Telharmonium (roues phoniques).
- Les modèles ultérieurs utilisent une « cabine Leslie » pour la diffusion du son qui donne le son « typique » de l'orgue Hammond.
- Premier instrument de musique électronique à avoir un tel impact sur le grand public.
- Démonstration : <https://youtu.be/oIB2yww3S9o>

Après la seconde guerre mondiale, un nombre important d'instruments voient le jour, toujours plus compacts et plus flexibles. Le contrôle du timbre devient alors un élément central dans la facture des instruments de musique électroniques.

LES SYNTHETISEURS ANALOGIQUES



Moog Modular 55 (1968)

- Moog et Buchla sont les deux principaux inventeurs de synthétiseur (*Voltage Controlled Modular Synthesizer*) dans les années 1950 et 1960.
- La modularité et le contrôle du timbre sont au cœur de cette nouvelle famille d'instruments de musique basés sur des circuits électroniques analogiques toujours plus complexes.
- Les années 1950 et 1960 est l'époque où les instruments de musique électroniques se développent.

Une nouvelle technologie fait son apparition à la fin des années 1950, poussée par l'essor de l'informatique : l'audio numérique.

MUSIC I ET MAX MATHEWS (1957)



- Premier programme informatique à synthétiser un son en utilisant une approche numérique.
- MUSIC I a donné naissance à la série des programmes « MUSIC-N » menant au langage de programmation CSOUND dans les années 1980.
- MUSIC III a fait « chanter » l'ordinateur pour la première fois en 1961 : <https://youtu.be/41U78QP8nBk>. Pour cela, il fallut utiliser l'un des ordinateurs les plus puissant de la planète pendant plus d'une semaine à plein régime pour produire moins de deux minutes de son...

On était donc encore bien loin de pouvoir utiliser un ordinateur comme un instrument de musique. Pour cela, il fallait avoir assez de puissance de calcul pour pouvoir synthétiser du son en temps-réel, ce que les ordinateurs des années 1950 et du début des années 1960 n'étaient pas en mesure de fournir.



- John Chowning découvre la synthèse sonore par modulation de fréquence (FM) en 1967.
- Cette dernière permet de générer des sons très variés en utilisant un nombre limité d'oscillateurs sinusoïdaux (au moins deux).
- La FM a été prototypée à l'université Stanford sur un ordinateur central PDP-6.
- En tant que compositeur, John Chowning a exploité cette nouvelle manière de générer des sons pour produire tout un corpus d'œuvres dont *Turenas* (1971) :
<https://youtu.be/kSbT0B5ft5c>.

VERS UNE APPLICATION COMMERCIALE DE LA FM : LE YAMAHA GS1 (1975)



Les GS1 dans le hall d'entrée du CCRMA

- Yamaha a fait le pari risqué de développer une puce dédiée à la synthèse FM à grands frais dans le cadre d'un brevet partagé avec Stanford.
- Le premier prototype de synthétiseur grand public utilisant de la synthèse numérique est le GS1.
- Seulement une poignée d'exemplaires ont été fabriqués.

LE CCRMA ET L'IRCAM : UNE HISTOIRE COMMUNE



Le CCRMA (à gauche) et l'IRCAM (à droite)

- John Chowning était étudiant de Nadia Boulanger au CNSM de Paris et connaissait bien la France.
- John Chowning et Max Mathews ont convaincu Pierre Boulez de l'importance de la recherche en informatique musicale.
- L'IRCAM à Paris et le CCRMA à Stanford ont été créés au même moment (autour de 1977). Max Mathews a officié en tant que directeur scientifique de l'IRCAM pendant plusieurs années.



Rencontre entre Chowning, Mathews et Boulez.

LA CONSÉCRATION : LE YAMAHA DX7 (1983)



- Le DX7 est le premier synthétiseur numérique à avoir un impact fort sur le grand public.
- Plus de 200 000 exemplaires sont vendus, le brevet de la FM rapporte des dizaines de millions.
- Un clavier pouvait maintenant « émuler » des sons d'instruments acoustiques « traditionnels ».
- Le timbre typique du DX7 a laissé son empreinte dans la musique des années 80 : <https://youtu.be/7txwuCCuoEA>
- Co-créé avec le standard MIDI qui a permis à d'autres fabricants de synthétiseur de « s'engouffrer dans la brèche du numérique ».

En parallèle, les synthétiseurs analogiques ont continué d'évoluer et de se perfectionner. On pense notamment au Prophet-5 de *Dave Smith Instrument* qui est le premier synthétiseur analogique programmable (1977).



LES ANNÉES 1980 : INVENTION DE NOUVELLES TECHNIQUES ET DÉVELOPPEMENT DU DOMAINE DE L'INFORMATIQUE MUSICALE

- Grâce à l'important travail de recherche mené au CCRMA et à l'IRCAM, notamment, de nouvelles techniques de synthèse sonore voient le jour dans les années 1980.
- La synthèse par modélisation physique, rendue accessible grâce au travail de Julius Smith sur les guides d'ondes numériques, permet de produire des sons très naturels comme le montre *Silicon Valley Breakdown* de David Jaffe :
https://youtu.be/_p4DGE5t3x0
- La synthèse par Fonction d'Onde Formantique (FOF) développée à l'IRCAM par l'équipe de Xavier Rodet permet de synthétiser les voyelles de la voix humaine chantée de manière très convaincante : <http://anasynth.ircam.fr/home/english/media/singing-synthesis-chant-program>
- La spatialisation du son prend une place de plus importante dans la création musicale grâce à l'émergence de nouvelles techniques telles que l'ambisonie.
- De nouveaux centres de recherche autour de l'informatique musicale voient le jour de partout dans le monde. Le Grame à Lyon en fait partie.

LA FIN DES ANNÉES 1980 ET L'ÉMERGENCE DU « PERSONAL COMPUTER » (PC)

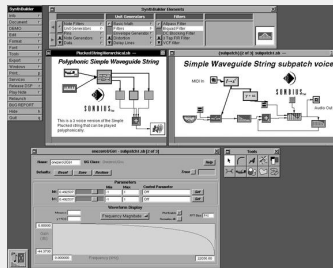


Machine Next de 1989



Julius Smith

Steve Jobs ayant toujours accordé une grande importance à la musique et au son dans le design de ces machines, on voit apparaître à la fin des années 1980 une série d'ordinateurs grand public offrant la possibilité de produire de la musique (ex. support MIDI, interface audio, etc.) : d'abord le Macintosh, puis les machines Next avec le *Music Kit* développé par Julius Smith qui est toujours à la base des systèmes audio des machines Apple de nos jours.



Interface de SynthBuilder sur une machine Next (1993)

- Dans les années 1980, les langages de programmation utilisés pour l'informatique musicale (ex. Algol, Fortran, Lisp, Pascal, etc.) restaient largement inaccessibles (tous comme les machines, d'ailleurs).
- Avec l'émergence des PCs, on voit au cours des années 1990 toute une série de langages de programmation pour l'informatique musicale apparaître : CSOUND (héritier de MUSIC-N), PureData, SuperCollider, SynthBuilder, OpenMusic, etc. donnant accès à différents paradigmes de programmation : graphiques, textuels, fonctionnels, impératifs, etc.



Le VL1 de Yamaha

- Après la FM, Yamaha mise sur la modélisation physique dans les années 1990 avec le VL1 (1993).
- Le VL1 est cher et dur à jouer, notamment à cause de l'utilisation d'un capteur de souffle : <https://youtu.be/OYWxCrz3vmQ>.
- La mémoire devient de moins en moins chère au cours des années 1990, ouvrant la voie aux techniques d'échantillonnage qui dominent le marché de la synthèse jusqu'à nos jours.

- Dans les années 2000, le nombre de fabricants d'instruments de musique et d'équipements audio numérique explose (ex. interfaces de contrôle, système de diffusion, etc.).
- En parallèle, le prix de ces objets baisse de manière significative.
- Cela se traduit en une diversification des outils et au fait que l'informatique musicale devient de plus en plus accessible.
- Un nombre croissant de personnes possède un « home studio ».
- En contrepoint des géants du domaines qui émergent durant cette période (ex. Arturia, Ableton, etc.), le logiciel libre prend une place de plus en plus importante avec la structuration des communautés *Linux Audio* et *Do It Yourself (DIY)* qui donnent naissance à des milliers de nouveaux instruments et de nouvelles techniques.

À quoi s'attendre pour la suite?

L'INFORMATIQUE MUSICALE N'EST PAS ÉPARGNÉE PAR L'IA

- En 2020, 5% des publications à la principale conférence sur les effets et les traitements audios (DAFx) étaient en lien avec l'IA. En 2025, ce nombre est passé à 60%. l'IA révolutionne notre approche au traitement du signal.
- Des plateformes telles que Suno (<https://suno.com/>) permettent de générer n'importe quelle musique en fournissant une description textuelle avec un niveau de qualité qui s'améliore de mois en mois.
- Plus de 20% des nouvelles musiques publiées sur la plateforme Spotify sont générées par une IA.
- Les enjeux économiques autour de la propriété intellectuelle sont colossaux.
- Les instituts de recherche comme l'IRCAM et le CCRMA continuent de jouer un rôle important dans ce contexte en fournissant des outils d'aide à la composition, pour la synthèse sonore, etc. basés sur de l'IA.
- Un vaste nombre de projets de recherche autour de ces questions sont actuellement financés.
- L'IA questionne aussi la pérennité des langages de programmation pour l'informatique musicale.

lien avec l'équipe Emeraude et le langage Faust

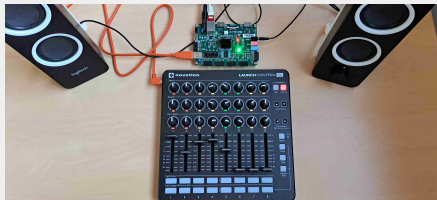
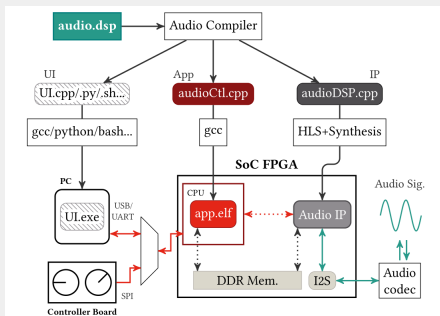
(Quelques projets développés au CITI...)

- Faust (<https://faust.grame.fr>) inventé par Yann Orlarey en 2004 et est développé à GRAME-CNCM, puis au sein d’Emeraude depuis 2022
- Faust est un langage de programmation fonctionnel pour le traitement du signal audio en temps-réel.
- C’est le premier langage pour l’audio à avoir été compilé.
- Le compilateur de Faust peut générer du code à partir d’un programme Faust dans différents langages de plus bas niveau : C/C++, LLVM, WebAssembly, etc.
- Le Faust IDE permet d’écrire des programmes Faust directement dans le Web : <https://faustide.grame.fr>
- Faust permet de cibler des plateformes embarquées telles que des microcontrôleurs, des DSP et plus récemment au sein d’Emeraude, des FPGAs.



Yann Orlarey

SYFALA : FACILITER LA PROGRAMMATION DES FPGAs POUR LE DSP AUDIO



- Syfala est un outil développé au sein d’Emeraude (<https://inria-emeraude.github.io/syfala/>) pour faciliter la mise en place d’applications audio basées sur FPGA (Field-Programmable Gate Array).
- Un programme Syfala peut être écrit en C/C++ ou en Faust.
- Un Linux embarqué peut être intégré à l’application produite pour faciliter le contrôle du programme (ex. MIDI, OSC, etc.).
- Syfala a notamment été développé pour explorer des applications nécessitant une latence audio très faible.

INTERFACE AUDIO AVEC AMPLIFICATEURS INTÉGRÉS



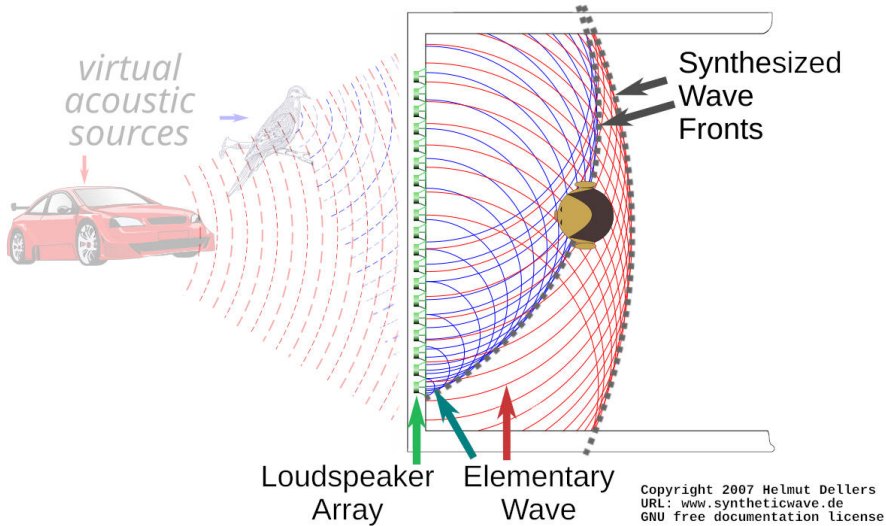
- Thèse de Maxime Popoff.
- 32 sorties audio de 3 W pour moins de 200 euros.
- Stackable : peut atteindre jusqu'à 256 canaux.

LA « BARRE D'ESPACE » : SYSTÈME WFS ACCESSIBLE



- Système de Wave Field Synthesis à 32 haut-parleurs (extensible).
- FPGA + Linux embarqué : facilité d'utilisation.
- Basé sur l'interface audio présentée dans le slide précédent et un programme écrit via Syfala.
- Déployé au show room INRIA à Grenoble.

Wave Field Synthesis principle





L'étape suivante : Ce dôme sera bientôt instrumenté avec environ 500 haut-parleurs qui permettront de reproduire n'importe quel environnement acoustique de manière artificielle en utilisant les technologies développées dans Emeraude.

Merci! :) Questions?

Email : `romain.michon@inria.fr`

Pour aller plus loin : *Les fous du son* de Laurent de Wilde